

## Estrazione di DSM da stereocoppie e triplette PRISM

Valerio Baiocchi (\*), Maria Vittoria Milone (\*), Martina Mormile (\*), Francesco Palazzo (\*\*)

(\*) DICEA, Area Geodesia e Geomatica, "Sapienza" University of Rome, Via Eudossiana 18-Zip, I-00184 Rome, Italy,  
tel 06/44585068, email: valerio.baiocchi@uniroma1.it

(\*\*) SERCO, c/o ESA-ESRIN via Galileo Galilei, I-00044 Frascati Italy,  
email: francesco.palazzo@esa.int

### Riassunto

Nel presente contributo viene illustrata una sperimentazione sulle possibilità di estrazione di un DSM da stereocoppie e da triplette PRISM. Le immagini utilizzate in questo studio sono relative all'area costiera che si estende dalla città di Pescara a quella di Ortona (Regione Abruzzo, Italia). La disponibilità di stereocoppie e triplette del sensore PRISM è relativamente recente e poco investigata, ad oggi tuttavia non è più sfruttabile per acquisizioni future in quanto il satellite ALOS, su cui era installato il sensore, ha terminato la sua attività nel 2011. Si deve sottolineare però che durante tutto il suo periodo di attività 6,5 milioni di immagini, la maggior parte dei quali in modalità stereoscopica, sono state acquisite e potrebbero essere rese disponibili in un prossimo futuro a costi molto contenuti o gratuitamente. Per tale motivo l'estrazione di DSM da tali immagini potrebbe essere una economica e rapida fonte di informazioni latimetriche anche per la formazione e l'aggiornamento di cartografia a media scala. L'accuratezza del DSM estratto secondo questa procedura è stato confrontato sia con le quote ottenute da una cartografia a grande scala sia, per quanto riguarda in particolare l'area di Pescara, con un rilievo Lidar terrestre.

### Abstract

In the present paper the phases of extraction of a DSM from Prism stereopairs and triplets are illustrated. Images represents a coastal area that spans from the city of Pescara to the city of Ortona (Abruzzo region, Italy). The availability of PRISM stereopairs and triplets is relatively recent but no more possible because satellite ended its activities during 2011. This work has mainly a methodological value cause on May 12, 2011, a command was sent to stop the onboard transmitter and now the sensor it's no more operative. In this paper accuracy of produced DSMs is compared with heights from large scale maps and with heights from terrestrial Lidar survey on the area of the city of Pescara. The images available for this study gave the possibility to test the feasibility of produce DSM from stereopairs and triplets using commercial packages: Extraction was executed with Geomatica 2012 using rigorous model, with GCP.

### Introduzione

Tutte le immagini utilizzate per questa sperimentazione sono state acquisite con PRISM, un sensore pancromatico montato a bordo del satellite giapponese ALOS (Advanced Land Observing Satellite) particolarmente studiato per le acquisizioni di stereocoppie e di triplette. Tale sensore è dotato, infatti, di un sistema con camere ottiche multiple che gli consentono di acquisire contemporaneamente in modalità *forward*, *nadir* e *backward* in direzione "along track" ossia lungo la direzione dell'orbita. La JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency), ente gestore del sensore e del satellite, dichiara che le immagini PRISM permettono di estrarre informazioni altimetriche con precisioni compatibili ai requisiti di una cartografia in scala 1:25000 in quanto hanno una risoluzione spaziale nominale di 2.5 metri. Tutte queste caratteristiche avrebbero potuto fare di PRISM un sensore particolarmente indicato e pratico per l'estrazione fotogrammetrica di DSM;

sfortunatamente, a causa di una anomalia riscontrata nel funzionamento del satellite ALOS, la stessa JAXA ha deciso di interromperne l'attività inviando un segnale di arresto il 12 Maggio del 2011. E' sempre possibile per recuperare stereocoppie e triplette acquisite dal sensore quando era attivo, ricercandone la disponibilità in archivio. Ciò può permettere di aggiornare cartografie a media scala esistenti ma anche di realizzarne di nuove, in particolare in paesi in via di sviluppo, considerando che la maggior parte di essi non dispone neanche di cartografia a media scala.

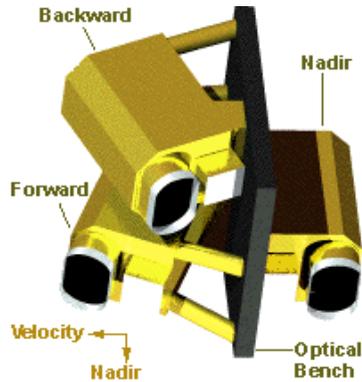


Figura 1. Il sensore PRISM a bordo del satellite ALOS.

### Metodologie e dati utilizzati

Le immagini a disposizione consistevano in una stereo coppia e una tripletta PRISM relative all'area costiera abruzzese, più in particolare la zona della città di Pescara.

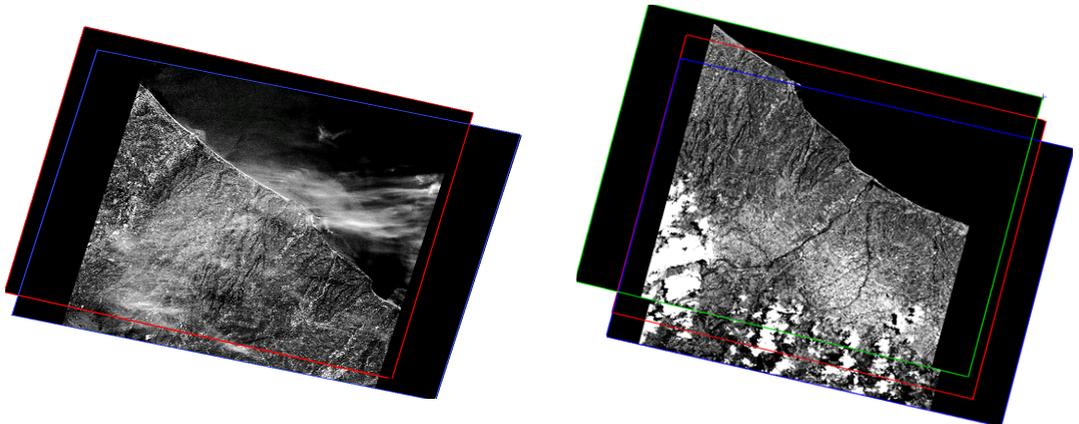


Figura 2. Stereocoppia e tripletta PRISM utilizzate.

Sia la tripletta che la stereocoppia presentano una quasi totale sovrapposizione, ma sono anche caratterizzate da una copertura nuvolosa, che causa una degradazione del risultato in termini di quote. Tuttavia l'area della città di Pescara nella, quale si sono principalmente concentrati i test, sembra non presentare tale copertura nuvolosa su tutte le cinque immagini.

Per questo studio e per l'estrazione del DSM è stato usato uno dei software scientificamente più utilizzati per l'orientamento rigoroso di immagini satellitari: "PCI Geomatica 2012". Tutte le cinque immagini sono state quindi orientate utilizzando 35 GCP (Ground Control Points), acquisiti nel

corso di precedenti sperimentazioni con ricevitori geodetici GPS-GNSS in modalità “rapido-statica”. I punti sono stati collimati su ogni singola immagine e si sono cominciati a studiare i residui calcolati applicando il modello rigoroso Toutin implementato in "Geomatica 2012" per escludere la presenza di *outlier*. L'orientamento mediante il modello RPC (*Rational Polinomial Coefficient*) è stato impossibile in quanto il file RPC non era disponibile per queste immagini. Per quanto riguarda invece il modello RPF si è deciso di non utilizzarlo dal momento che già in precedenti ricerche (Baiocchi et al., 2005) è emerso come tali modelli siano caratterizzati da scarsa accuratezza e robustezza pertanto non sono stati testati in questa ricerca.

Per studiare la precisione ottenibile con il modello rigoroso e l'accuratezza delle immagini, sono stati fatti una serie di test di orientamento delle stesse osservando l'andamento dell'RMSE dei GCP e CP, all'aumentare del numero di GCP utilizzati fino al valore massimo di 35. I risultati ottenuti per tutte le immagini sono assolutamente confrontabili e sembra che la precisione del modello rigoroso possa essere valutata intorno ai 2,5 m. ottenibile dopo la collimazione di circa 20 GCP quando si osserva una stabilizzazione nell'andamento dei residui calcolati sui GCP stessi (Fig.3).

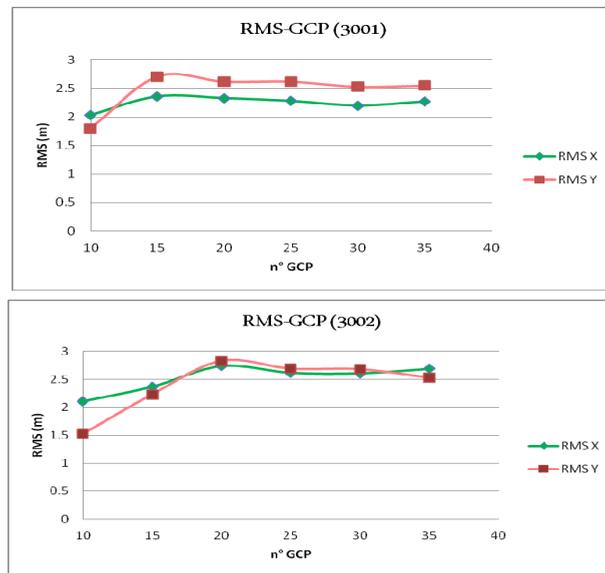


Figura 3. Precisione del modello rigoroso, relativa alla stereocoppia, all'aumentare del numero di GCP.

Allo stesso modo l'accuratezza delle immagini è stata valutata osservando le variazioni dell'RMSE relativo stavolta ai CP, sempre all'aumentare del numero dei GCP. Si può osservare che dopo la collimazione di 15 GCP l'accuratezza sembra raggiungere una stabilizzazione intorno ad un valore di circa 3-3.5 metri. Il valore di accuratezza ottenuto è da ritenersi accettabile considerando che la risoluzione nominale è effettivamente di 2,5 metri solamente per l'acquisizione nadirale.

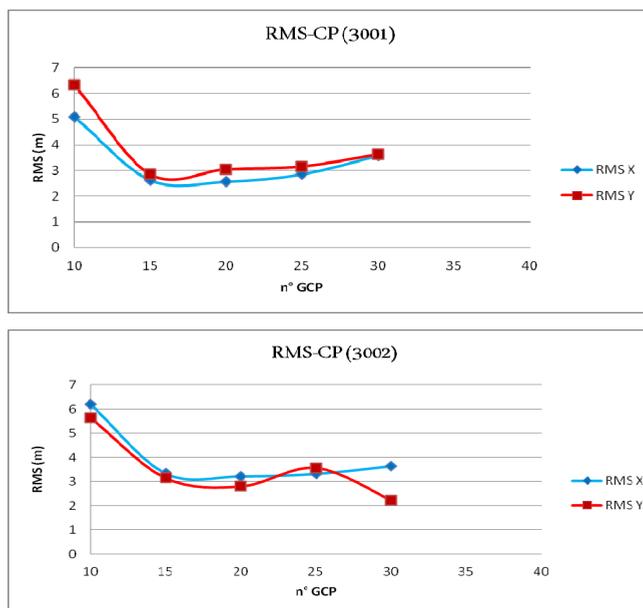


Figura 4. Accuratezza delle immagini, relativa alla stereocoppia, all'aumentare del numero di GCP.

## Risultati

L'estrazione del DSM, come l'orientamento delle immagini precedentemente descritto, è stata effettuata in "Geomatica 2012". E' stata valutata anche la possibilità di eseguire una pre-elaborazione delle immagini grezze mediante l'applicazione del filtro Sobel per aumentare il contrasto radiometrico, ma non essendo stato osservato nessun miglioramento significativo nella qualità dei risultati, verranno riportati di seguito solo gli studi effettuati sulle immagini originali ovvero non filtrate. Per l'estrazione del modello digitale della superficie sono state seguite le indicazioni dalla PCI e contenute in uno specifico tutorial sull'uso di stereocoppie PRISM. In primo luogo sono stati collimati alcuni *Tie Point* (TP) per migliorare l'orientamento relativo delle due prese della stereocoppia. Questa operazione può essere eseguita in modo automatico all'interno del software, ma una verifica dell'operatore su ogni singolo punto è comunque necessaria come controllo. Sono quindi state create le immagini epipolari; si è verificata l'influenza della scelta delle due immagini da elaborare tra le varie combinazioni possibili dato che in precedenti studi su altri sensori se ne era riscontrata l'influenza ma in questo caso non sembra aver alcun effetto come dovrebbe essere in base a considerazioni fotogrammetriche. Allo stato attuale, con la versione corrente di Geomatica (2012), sembra non esserci la possibilità di creare più di due immagini epipolari. Questo è un ostacolo per l'utilizzo delle tre immagini di una tripletta perché non possono essere utilizzati nello stesso modello stereoscopico.

Per cercare di "aggirare" tale ostacolo e sfruttare comunque (almeno in parte) la disponibilità della tripletta, le immagini componenti la tripletta stessa sono state utilizzate in tutte le possibili combinazioni di immagini epipolari per estrarre DSM ed è quindi stata realizzata una unione dei tre DSM ottenuti combinando le tre immagini relative come suggerito dalla documentazione PCI.

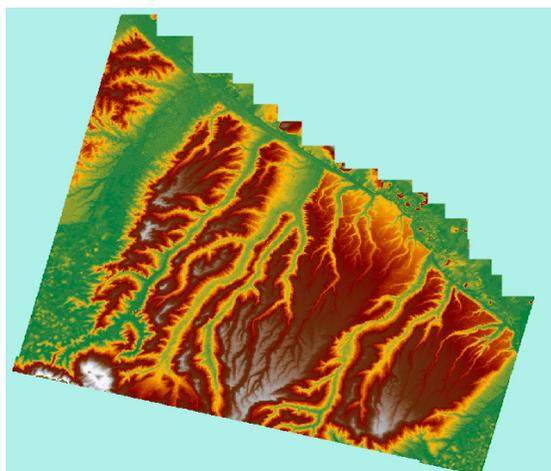


Figura 5. DSM ottenuto dalla stereocoppia PRISM.

Per tutti i test la risoluzione dei DSM estratti è stata impostata a 5 m. considerando che la documentazione PCI suggerisce 5- 10 metri.

Una prima analisi dei DSM ottenuti mostra come questi siano globalmente caratterizzati da un andamento realistico su tutta la superficie, con l'ovvia eccezione delle aree coperte dalle nuvole.

Tuttavia osservando con maggiore attenzione i dettagli dei DSM risulta evidente la presenza di alcuni innaturali "cavità" le quali non risultano avere alcun legame con la morfologia effettiva del terreno.

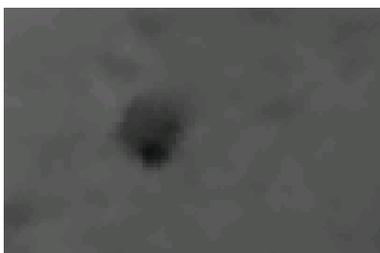


Figura 5. Anomalie evidenziate in alcune aree del DSM.

Dal confronto con altri ricercatori è emerso che il problema riscontrato dovrebbe essere superato con gli aggiornamenti del software di prossimo rilascio (Jacobsen, 2012)

Dopo l'estrazione del DSM le quote in esso riportate sono state confrontate con quelle ricavate da più di 80000 punti misurati con un Laser Scanner terrestre modello Riegl LZM-12. In tabella 6 sono riportati i risultati di tale confronto.

Mean	0.012 m.
Standard deviation	0.938 m.
Maximum difference	5.825 m.
Minimum difference	-5.949 m.

Tabella 6. Risultati del confronto tra le quote del DSM e quelle del rilievo Laser Scanner.

Tali valori confermano un sorprendente accordo tra il DSM estratto dalle stereocoppie e i dati Lidar e l'assenza di un errore sistematico, si consideri, a riguardo, che entrambi i rilievi possono considerarsi "appoggiati" a rilievi GPS-GNSS geodetici differenziati rispetto alla stessa stazione permanente GPS gestita dalla Regione Abruzzo. Il valore della deviazione standard è di gran lunga migliore rispetto a quello richiesto per l'allestimento di una carta in scala 1:25000 per la quale il sensore era stato progettato.

Dal momento che il rilievo Laser Scanner è relativo alla sola area di Pescara e quindi il confronto con questo non risultava del tutto esaustivo, interessando solo una piccola porzione del modello digitale estratto, le quote del DSM sono poi state confrontate con i punti quotati di una cartografia vettoriale in scala 1:5000 e anche con punti tridimensionali estratti dalle curve di livello della medesima cartografia. La scala è cinque volte maggiore di quella dichiarata dalla JAXA che, come già ricordato è 1:25000 e questo la rende ampiamente adeguata al nostro confronto. Nelle tabelle di seguito sono riportati i risultati del confronto in termini di media, deviazione standard valore massimo e minimo delle differenze di quota ottenuti su tutti i punti.

MEAN	-4.17443
ST.DEV.	4.325642
MIN.VALUE	-18.057
MAX.VALUE	14.52274

Tabella 7. Risultati del confronto tra le quote del DSM e quelle di 4289 punti quotati.

MEAN	-3.07153
ST.DEV.	5.001322
MIN.VALUE	-35.7346
MAX. VALUE	44.23436

Tabella 8. Risultati del confronto tra le quote del DSM e quelle di 56347 punti tridimensionali estratti dalle curve di livello.

E' possibile notare che in entrambi i casi si ottengono valori negativi per la media delle differenze di quota; questo era prevedibile considerando le caratteristiche del DSM. Infatti un modello digitale della superficie è un modello che rappresenta, appunto in formato digitale, la forma della parte superiore del territorio comprendente quindi edifici, infrastrutture e alberi, mentre curve di livello e punti quotati rappresentano l'andamento altimetrico del solo terreno.

I risultati ottenuti sono stati poi analizzati all'interno del software QGIS: i file vettoriali contenenti i punti quotati e i punti tridimensionali ricavati dalle curve di livello sono stati importati e modificati con l'aggiunta di un campo specifico nel *database* contenente le differenze di altezza tra i punti in questione e le quote dei punti corrispondenti del DSM. Poi i punti sono stati classificati in cinque diverse classi al fine di avere una efficace rappresentazione visiva della distribuzione degli errori. In particolare si ha, come era prevedibile, una maggiore concentrazione nella classe centrale relativa ai punti con differenze di quota comprese tra -5 e 5 metri, che sono sicuramente compatibili con il requisito scala 1:25000 mappe, come dichiarato da JAXA. Sono state definite altre due classi simmetriche contenenti i punti che presentano differenze da -10 a -5 m. e da 5 a 10 m., le quali sono ancora nel *range* di tolleranza per la scala 1:25000, considerando le tolleranze accettate a livello nazionale.

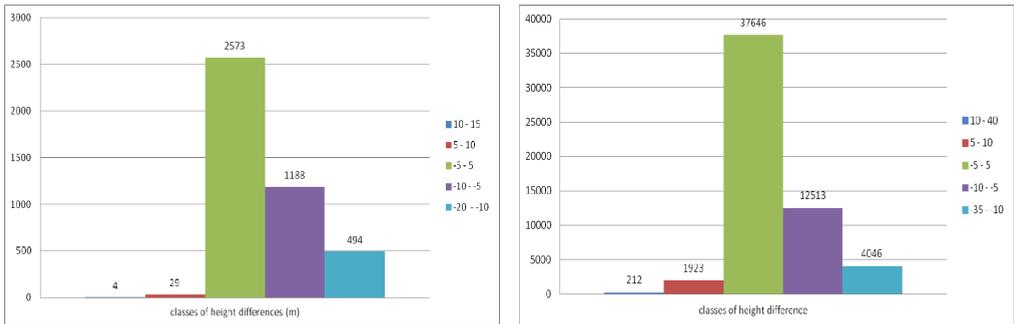


Figura 9. Istogrammi di distribuzione delle differenze di quota tra i punti quotati (a sinistra) e curve di livello (a destra) e DSM altezze.

La maggior parte dei punti mostrano quindi differenze compatibili con i requisiti necessari e si può osservare che i maggiori scostamenti sono concentrate in aree con caratteristiche morfologiche comuni.

E' possibile notare che la maggior parte delle differenze positive sono localizzate nelle già citate "cavità" in cui le quote del DSM sono sicuramente inferiori a quelle del terreno reale e quindi i punti da cartografia si trovano parecchi metri più in alto. D'altra parte è più difficile capire chiaramente le cause della presenza delle maggiori differenze negative in alcuni settori. Queste infatti sembrano essere concentrate in zone a grande pendenza con esposizione a nord-ovest e pertanto una possibile spiegazione può essere, per esempio legata alla diversa esposizione al sole ma ulteriori test devono essere effettuati per confermare o escludere questa o altre cause, anche questi problemi potrebbero essere superati con i nuovi aggiornamenti del software (Jacobsen, 2012)

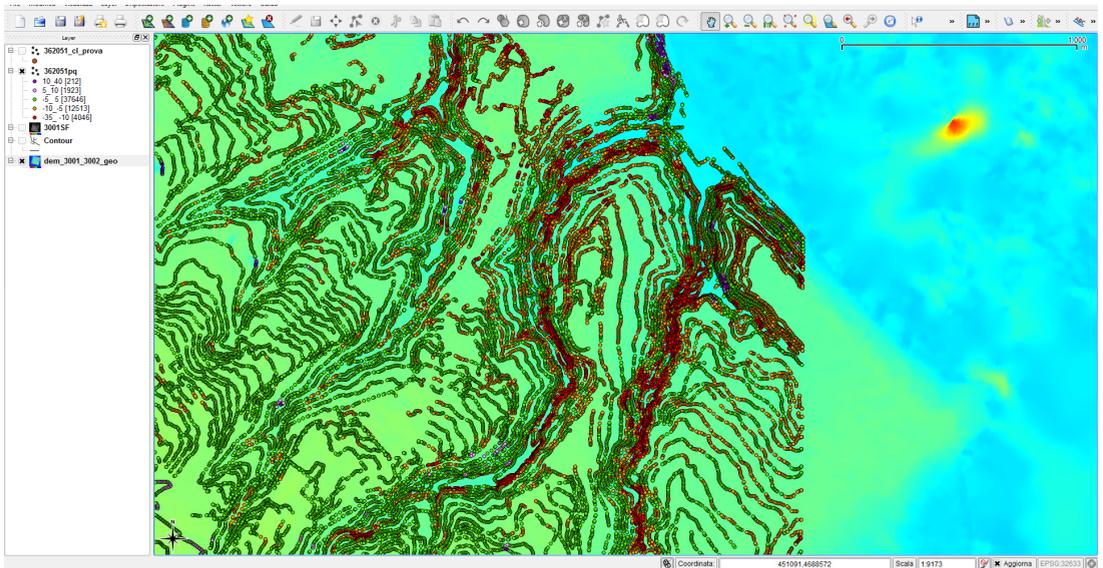


Figura 10. Distribuzione delle maggiori differenze negative.

### **Conclusioni**

I risultati ottenuti mostrano un buon (in alcuni casi sorprendente) accordo tra le quote del DSM ottenuto da stereocoppia ed i dati ricavati da cartografia e dal rilievo laser Scanner. Nel secondo caso si è riscontrato un sistematico errore probabilmente a causa della superficie ottenuta che rappresenta quote diverse da quelle dei punti quotati e delle curve di livello. Alcune anomalie localizzate possono essere sicuramente spiegate in considerazione di alcune innaturali morfologie create dal software ("cavità"), per altre invece, allo stato attuale non è possibile individuare le cause con esattezza ma si rendono necessari ulteriori test di approfondimento, considerando che un specifico aggiornamento del software è prossimo al rilascio. Le immagini PRISM si dimostrano quindi una affidabile fonte di informazioni altimetriche a media scala considerando che sono state acquisite, durante tutto il suo periodo di attività, 6,5 milioni di immagini, la maggior parte delle quali in modalità stereoscopica.

### **Bibliografia**

- Baiocchi V., Milone M.V., Mormile M. (2012), 'PRISM triplet and stereopairs to build digital surface models', *Proceedings "Sentinel-2 preparatory symposium"*
- Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Giannone F. (2005), 'A new rigorous model for the orthorectification of synchronous and asynchronous high resolution imagery', In *Proceedings of the 24th EARSeL Symposium on New Strategies for European Remote Sensing*, Dubrovnik - Croazia, 24-27 May 2004, vol. 1, p. 461-468, ROTTERDAM: Millpress Science Publisher
- Jacobsen M. (2012), comunicazione verbale
- Kocaman S., Gruen A. (2008), 'Geometric modeling and validation of alos/prism imagery and products', In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008*
- PCI (2009), 'DEM Extraction of ALOS PRISM Data'. In PCI WEB site: [www.pcigeomatics.com/support/tutorials/pdfs/Geomatica\\_v102\\_DEM\\_Extraction\\_Tutorial\\_PRISM.pdf](http://www.pcigeomatics.com/support/tutorials/pdfs/Geomatica_v102_DEM_Extraction_Tutorial_PRISM.pdf)
- Tadono T., Shimada M., Takakub J. & Kawamoto S. (2008), 'Updated results of calibration and validation of ALOS optical instruments', In *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XII*, edited by Roland Meynart, Steven P. Neeck, Haruhisa Shimoda, Shahid Habib, *Proc. of SPIE Vol. 7106*